Proceedings of 5º Encuentro de Potencia, Instrumentación y Medidas, IEEE, October 19-20, 1999, Montevideo, Uruguay

Medición de energía y otros parámetros eléctricos, basada en sistemas electrónicos

Gerardo Carbia Fernández

Daniel Slomovitz, IEEE Senior Member

Laboratorio de UTE, Montevideo, Uruguay

Resumen: Este trabajo plantea la implantación de una nueva tecnología en el sistema de medida de UTE, basada en medidores de energía electrónicos de última generación. En él se detallan los nuevos componentes, como también se describen las características físicas (hardware) y todos los elementos de programación, control y recopilación de datos, tanto local como remota. Se analizan ventajas y posibilidades del sistema.

Asimismo, se sugiere la posibilidad de implementar nuevos algoritmos para el cálculo de factor de potencia. Se discute el comportamiento de medidores de energía reactiva con diferentes principios de funcionamiento, y se comparan resultados.

Palabras clave: medidor electrónico, ondas distorsionadas, definiciones de potencia eléctrica.

I. INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento del nuevo marco regulatorio energético en el ámbito nacional y regional, el cual implica entre otras cosas el cobro de peajes entre los distintos puntos fronteras o nodos entre transmisión, distribución y generación, surgió la necesidad de mejorar el sistema de medida. Pequeños errores en la medición representarían grandes cifras de dinero a favor o en contra de unos u otros.

Dentro de este marco se definió el sistema de medición de energía compuesto por: los transformadores de corriente y tensión, los medidores de energía con un sistema integrado de registro y transmisión de datos y un sistema de comunicaciones para la recolección de información basado en la red de telefonía.

Entre los modernos medidores electrónicos, existen múltiples tipos basados en diversos principios de funcionamiento. La mayoría computan una variedad de parámetros tales como potencia y energía activa y reactiva, factor de potencia, corriente, tensión, distorsión armónica, etc. En general sus fabricantes no detallan los algoritmos que utilizan en los manuales suministrados, lo cual dificulta analizar sus comportamientos en condiciones fuera de las establecidas en las normas de ensayo.

II. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDA

Los medidores de energía son tetrafilares de tipo estático de clase 0.2S bidireccionales con emisor de pulsos, normalizados según la norma IEC 687 [1].

0-7803-9938-2/99/$10.00 © 1999 IEEE

Dentro de sus capacidades podemos destacar:

a) Registro de una gran cantidad de parámetros eléctricos dentro de los cuales podemos citar: energías activas, reactivas y aparentes, en ambos sentidos, potencias, tensiones y corrientes por fase, factor de potencia, distorsión armónica, indicadores de fase, etc.
b) Capacidad de medida en 4 cuadrantes.
c) Medios de comunicación: local, vía lector óptico (9600 bps) y telefónica vía módem (2400 bps).
d) 256 Kbytes de memoria RAM para el almacenamiento de los datos, con un sistema de batería de respaldo.
e) Dos puertos RS 232 para conectar una impresora, un módem externo o una computadora.
f) Cuatro salidas de relay de estado sólido, programables para alarmas, control de cargas, etc.
g) Control de seguridad con dos niveles de passwords de escritura o sólo lectura.
h) Llamado por evento: puede llamar a un número prefijado cuando ocurre un determinado evento, por ejemplo una pérdida de potencial.
i) Compensación por pérdidas en líneas de transmisión o en transformadores.
j) Posibilidad de conectar varios medidores con una sola línea telefónica (Daisy Chain).

III. SOFTWARE

Se cuenta con dos paquetes de software para tareas de:

A Programación
B Recuperación y procesamiento de datos.

A. Básicamente la programación del medidor conlleva dos etapas, una de diseño donde se establecen parámetros generales, aplicables a un grupo de puntos a medir, y se genera un archivo de extensión .map. Luego le sigue una segunda etapa de programación en sí misma donde se descarga el archivo al medidor en forma local o remota y se le inyectan los parámetros particulares de cada punto.

En el diseño del archivo se definen por ejemplo, qué parámetros se registrarán, en qué displays, qué resolución se usará (8, 12 o 16) bits, cuántos canales de almacenamiento (máximo 16) y el intervalo de almacenamiento (1, 2, 5, 6, 10, 15, 30, 60 minutos). Con toda esta información más la capacidad de memoria se determina cuánto tiempo se podrán mantener los datos

antes de que los mismos sean sobrescritos, según la siguiente ecuación:

$$D = \frac{(A - B)1024}{CEFG} \qquad (1)$$

donde A es la memoria neta del medidor (256 Kbyes), B es overhead que depende de la firmware del medidor, C es la cantidad de canales, G es la cantidad de intervalos por hora, E es la resolución en bytes, F la cantidad de horas al día y D la cantidad de días.

Una vez obtenido el archivo se procede a la programación del medidor. En ella se carga el medidor con el archivo y se le agregan por ejemplo los siguientes datos: relación de transformación, número de identificación, nombre, constantes de almacenamiento, configuración de respuesta a llamadas, passwords, reseteo de batería, etc.

B. Por intermedio de este software se pueden realizar consultas automáticas. Esto es, fijada una hora el programa comienza a recabar los datos de los medidores uno por uno, tarea que normalmente se realiza en horas de la madrugada de forma de tener los datos actualizados al comenzar el día. También incluye tareas de emisión automática de reportes, etc.

IV. MEDIDA DEL FACTOR DE POTENCIA

Generalmente, los medidores tradicionales de energía reactiva electromecánicos están basados en el mismo principio que el medidor de activa, pero transponiendo las fases correspondientes a las tensiones y las corrientes. De esta forma se logra un desfasaje de 90° adicional. En un medidor trifásico de 3 motores la corriente de la fase *a* se multiplica por la tensión entre *b* y *c*, y las restantes se permutan cíclicamente. El sistema integra el valor medio, acumulando la energía reactiva. Por tanto, la ecuación base de su funcionamiento es

$$Qr = \frac{-1}{T\sqrt{3}} \int_0^T \left[(v_a - v_b) i_c + (v_b - v_c) i_a + (v_c - v_a) i_b \right] dt \qquad (2)$$

En caso de tensiones y corrientes sinusoidales, usando fasores, queda

$$Qr = \sum_{i=1}^{3} V_i I_i \operatorname{sen} \varphi_i \qquad (3)$$

Siendo V e I el módulo de los fasores correspondientes a la tensión y la corriente de cada fase, y φ_i su desfasaje. Los mismos resultados se obtendrían si el método usado para lograr el desfasaje adicional de 90° de las tensiones, fuera otro.

En redes de potencia la distorsión en la tensión es baja, estando limitada por reglamentos nacionales [2] a valores máximos del 5%. Es responsabilidad de las empresas eléctricas mantenerla dentro de estos límites hasta la conexión con el consumidor; lugar donde se instala el puesto de medida. Por tanto, es razonable aceptar, en la mayoría de los casos, la hipótesis de sistemas de tensión equilibrados con onda sinusoidal. La corriente, en cambio, puede ser distorsionada. En estas condiciones, el valor medido por estos instrumentos es Q_1 (potencia reactiva correspondiente a las componentes fundamentales de las ondas de tensión y corriente), siendo insensibles al contenido armónico.

Tampoco responden a desequilibrios del sistema, dado que cada motor es independiente de los restantes. El par total es simplemente la suma de los pares de cada motor. Frente a una carga monofásica resistiva, el valor medido vale cero, tal como se muestra en [3].

Los fabricantes generalmente no detallan, en la información técnica que acompaña a los medidores, los algoritmos de cálculo que utilizan. Tampoco fue posible obtenerla por consulta directa. Por esto, en este trabajo se han ensayado 3 medidores electrónicos trifásicos clase 0.2S según norma IEC 687 de diferentes fabricantes identificados como A, B y C; con el objetivo de determinar los algoritmos implementados en ellos. Todos fueron ensayados según normas internacionales, cumpliendo con los límites de error establecidos.

Posteriormente han sido sometidos sucesivamente a una carga monofásica resistiva, y a una carga no lineal monofásica, conectada entre una línea y el neutro. Ambas condiciones no figuran en las actuales normas.

Bajo carga resistiva asimétrica, los modelos A y C mostraron valores de Q=0, PF=1 y potencia aparente igual a la potencia activa. Esto coincide con algoritmos que implementan el comportamiento de medidores electromecánicos, en acuerdo con (3). Es interesante destacar que los equipos tienen la posibilidad de computar otros algoritmos de potencia aparente, dado que computan el valor rms de cada una de las corrientes y tensiones. Pero estos fabricantes optaron por implementar el mismo algoritmo que se utiliza con los tradicionales conjuntos de medidores de activa y reactiva electromecánicos. Pese a esto, es aún posible utilizar otros algoritmos de cálculo, transfiriendo los valores de las tensiones, corrientes y potencia activa medidos a un computador externo (a través de módem), procesándolos en acuerdo con esos algoritmos.

A diferencia de los anteriores, el modelo B calcula el factor de potencia trifásico mediante un algoritmo que promedia el factor de potencia de cada fase, ponderado por la corriente de esa fase. Este algoritmo coincide con el cómputo de la potencia aparente según [4]. En el caso de carga monofásica resistiva despliega el valor de 0.87. Sin embargo, en este mismo medidor y bajo la misma carga, el valor de potencia

reactiva registrado es nulo. Por tanto, para la potencia reactiva utiliza otro algoritmo, en este caso coincidente con la ecuación (3). Esta dualidad de criterios puede causar una gran confusión en la evaluación del factor de potencia por parte de los consumidores. Por una parte se concluye que el factor de potencia vale 0.87 y por otra que vale 1. La inconsistencia aparece en un mismo equipo al haberse implementado diferentes definiciones.

Para el ensayo bajo carga monofásica distorsionada se midió el consumo de un monitor de computadora. La tensión fue sinusoidal (distorsión menor al 5%) y la forma de onda de corriente se muestra en la Fig. 1 (distorsión: 69%). Los restantes parámetros son: P=50 W, S=82 VA, PF=0.61 y cos φ_1=0.84.

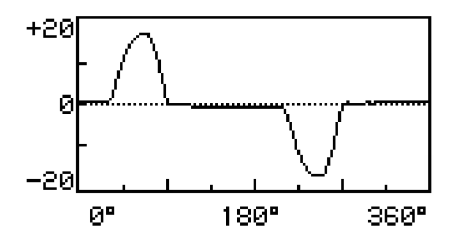


Fig. 1. Forma de onda de la corriente usada para el ensayo de medidores electrónicos.

El modelo A informó correctamente el valor rms de la corriente, lo cual muestra que considera en su cálculo todos los componentes armónicos. A partir de este valor y el de la tensión sería posible calcular la potencia aparente real (82 VA). Sin embargo, el valor de potencia aparente desplegado en la pantalla es de 60 VA. Este valor coincide con el calculado a partir de un algoritmo basado en cos φ_1 y P. También la potencia reactiva desplegada muestra sólo la debida a la componente fundamental de la corriente. O sea, si bien el medidor computa adecuadamente todos los armónicos, el fabricante decidió usar algoritmos que simulan el comportamiento de los medidores electromecánicos, insensibles a los armónicos. Igualmente queda una inconsistencia entre el valor de potencia aparente directamente leído y el calculado a partir del producto de la tensión por la corriente.

El modelo B desplegó un valor de potencia reactiva correspondiente a un algoritmo que sólo toma en cuenta la componente fundamental de la corriente. Descarta todos los armónicos. Sin embargo, el valor del factor de potencia desplegado en pantalla es correcto y toma en cuenta la real forma de onda. Nuevamente aparece una inconsistencia entre el factor de potencia calculado a partir de P y Q (0.84) tal como se realizaría para la facturación y el factor de potencia leído directamente en el propio instrumento (0.61).

El modelo C desplegó valores de potencia aparente y factor de potencia que muestran que no toma en cuenta para sus cálculos ningún componente armónico. Sólo responde al componente fundamental de la corriente, en la misma forma que respondería un medidor electromecánico.

Este análisis muestra la disparidad de criterios y el gran desconcierto existente entre los propios fabricantes de medidores electrónicos, lo cual es reflejo de la situación actual de falta de acuerdo internacional sobre las definiciones en regímenes no balanceados o distorsionados.

V. CONCLUSIONES

Hoy día ya se dispone con medidores de alta tecnología todos ellos muy versátiles, donde el fabricante deja en manos de la empresa eléctrica el uso que se le de. Esta en ella el buscar el máximo aprovechamiento de todas sus capacidades y recursos adaptándolo a sus necesidades.

Cabe destacar: la gran cantidad de parámetros eléctricos que registran, como así también su capacidad de almacenamiento y la opción de lectura remota con la que cuentan, que permiten obtener los datos de cualquier punto de la región desde la oficina.

Ante la disyuntiva ocasionada por la falta de acuerdo en la definición de la potencia aparente, reactiva y el factor de potencia, los fabricantes de modernos medidores digitales siguen implementando algoritmos para la potencia reactiva, que emulan a los viejos medidores de energía reactiva de disco giratorio. Y peor aún, la confusión aumenta al desplegar en pantalla nuevos parámetros tales como factor de potencia, corriente rms, potencia aparente, para los cuales se usan definiciones conflictivas con la de la potencia reactiva. Incluso esto ocurre en un mismo medidor de facturación, donde el factor de potencia calculado a partir de los valores informados de P y Q (tal como lo calcularía una empresa eléctrica) difiere del valor directamente desplegado en pantalla.

Los medidores electrónicos de hoy día son capaces de medir en situaciones no sinusoidales con una mejor exactitud que los medidores de inducción, pero estos no serán aprovechados en su mayor capacidad si los principios de aplicación con que están operando son conflictivos. El completo aprovechamiento de su potencial tendrá que esperar por plasmar las nuevas definiciones en la fabricación de medidores electronicos.

VI. REFERENCIAS

[1] IEC 687, “Alternating current static watt-hour meters for active energy,” 1992.

[2] Reglamento de Baja Tensión de UTE, Capitulo XX, pp. 1, Jun. 1998.

[3] Daniel Slomovitz, "¿Están las empresas eléctricas computando correctamente el factor de potencia a sus usuarios?," IEEE 5to Encuentro de Potencia, I&M, Montevideo, Uruguay, 1999.

[4] IEEE Working Group on Nonsinusoidal situations, "Practical definitions for powers in systemas with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: a discussion," 95 WM 040-6 PWRD, 1995.

VII. BIOGRAFÍA



Daniel Slomovitz (M'86-SM'89) nació en Montevideo, Uruguay, en 1952. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, en 1978.

Desde 1977 trabaja en el Laboratorio de UTE, desempeñando actualmente el cargo de Jefe del Laboratorio.

En el área de educación, ha conducido numerosos cursos, siendo actualmente Profesor Catedrático de Medidas Eléctricas, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.

Ha desarrollado trabajos de investigación en las áreas de Metrología y Alta Tensión habiendo publicado más de 50 trabajos.



Gerardo Carbia Fernandez, nació en Montevideo, Uruguay, en 1971. Es estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la República.

Desde 1994 trabaja en el Laboratorio de UTE, desempeñando el cargo de ayudante de Ingeniero.

Actualmente trabaja en temas relacionados con ensayos y normas, con especial interés en medida de energía, telemedidas, y fotometría.